



Pencemaran udara berikutan peristiwa jerebu tahun 2005: Kajian kes di Perai, Pulau Pinang, Malaysia

Mastura Mahmud¹, Nuur Huraizah Abu Hanifah¹

¹Pusat Pengajian Sosial, Pembangunan dan Persekitaran, Fakulti Sains Sosial dan Kemanusiaan, Universiti Kebangsaan Malaysia

Correspondence: Mastura Mahmud (email: mastura@ukm.my)

Abstrak

Peristiwa jerebu yang disebabkan oleh kebakaran hutan di Sumatera dan Kalimantan telah memberi kesan yang hebat di pantai barat Semenanjung Malaysia terutamanya di sekitar Lembah Klang sehingga menyebabkan darurat jerebu diistiharkan di Kuala Selangor dan Kelang pada 11 Ogos 2005. Oleh itu, satu kajian dilakukan bagi melihat sejauhmana fenomena jerebu ini mempengaruhi kualiti udara di Perai, Pulau Pinang dengan mengkaji pencemar yang terdiri daripada gas karbon monoksida, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, ozon serta zarah terampai kurang daripada 10 mikron (PM_{10}). Tahap kepekatan bulanan PM_{10} menunjukkan dua taburan yang ketara, di mana nilainya melebihi $80 \mu g m^{-3}$ dari Januari ke Julai, dan kurang daripada $60 \mu g m^{-3}$ dari Ogos ke Disember. Analisis dilakukan mengikut pecahan tiga tempoh iaitu dari Januari hingga Disember, Januari hingga Julai, dan Ogos hingga Disember. Hasil analisis regresi multivariat menunjukkan bahawa parameter cuaca seperti hujan dan angin menyumbang kepada 5.3% terhadap kepekatan habuk halus kurang daripada 10 mikron (PM_{10}) dari Januari hingga Disember. Hasil analisis korelasi pula menunjukkan bahawa hujan mempunyai hubungan yang lemah dan songsang terhadap kepekatan PM_{10} . Nilai pekali korelasi dari Januari hingga Disember ialah -0.188, berbanding nilai -0.184 (Januari hingga Julai), dan -0.164 (Ogos hingga Disember). Kelajuan angin turut menunjukkan pengaruh yang lemah dengan nilai pekali korelasi 0.152, 0.042, dan 0.127 bagi ketiga-tiga pecahan tempoh. Secara keseluruhan, didapati jerebu yang berlaku pada Ogos 2005 tidak memberi kesan yang teruk kepada kualiti udara di Perai kerana kepekatan PM_{10} tidak melebihi $70 \mu g m^{-3}$.

Katakunci: fenomena jerebu, kualiti udara, ozone, pencemaran udara, Pulau Pinang, zarah terampai

Air pollution during the haze event of 2005: The case of Perai, Pulau Pinang, Malaysia

Abstract

The transboundary haze from the biomass burning in Sumatera and Kalimantan brought about a haze emergency on 11 August 2005 in the districts of Kuala Selangor and Kelang, on the western coast of Peninsular Malaysia. A study on how far this haze phenomenon had influenced the air quality in Perai, Pulau Pinang was conducted whereby the state of air pollutants such as carbon monoxide, nitrogen dioxide, sulphur dioxide, ozone, and particulate matters of size less than 10 microns (PM_{10}) was investigated. The monthly PM_{10} concentrations revealed two distinct distributions, where values of more than $80 \mu g m^{-3}$ occurred from January to July but were lower than $60 \mu g m^{-3}$ from August to December. The analysis was carried in three temporal durations that ranged from January to December, January to July and August to December. The multivariate regression analysis showed that rainfall and wind speed contributed to 5.3% of the PM_{10} concentration from January to December. The correlation analysis showed

a weak and inverse relationship between rainfall and the PM_{10} concentration. The correlation coefficients during the three temporal periods were -0.188, -0.184, and -0.164, respectively. Wind speed also showed a very weak influence on the PM_{10} concentration where the correlation coefficients were 0.152 (January to December), 0.042 (January to July), and 0.127 (August to December), respectively. In conclusion, the haze phenomenon during August, 2005 did not severely affect the air quality in Perai since the PM_{10} concentration did not exceed $70 \mu g m^{-3}$.

Keywords: haze phenomenon, air quality, ozone, air pollution, Pulau Pinang, suspended particulates

Pengenalan

Malaysia, sepertimana sebuah negara membangun yang lain juga mempunyai matlamat untuk menuju era sebuah negara maju yang berteraskan perindustrian menjelang tahun 2020. Selaras dengan matlamat ini kerajaan telah merancang pelbagai projek pembangunan yang melibatkan aspek ekonomi, sosial dan infrastruktur bagi meningkatkan taraf hidup rakyat dan seterusnya mempertingkatkan lagi pertumbuhan ekonomi negara. Justeru, akhir-akhir ini, sama ada di bandar atau di desa projek pembangunan begitu pesat dilaksanakan. Dalam keghairahan manusia untuk mengaut keuntungan yang tinggi dari proses pembangunan ini, secara sengaja atau tidak sengaja telah menyebabkan kebersihan alam sekitar tergugat.

Pada Ogos 2005, satu fenomena jerebu yang teruk telah berlaku disebabkan oleh kebakaran hutan di Sumatera dan Kalimantan. Fenomena ini memberi kesan yang agak teruk juga di pantai barat Semenanjung Malaysia terutamanya di sekitar Lembah Klang. Ekoran daripada fenomena jerebu ini, dua kawasan telah diisytiharkan darurat iaitu Kuala Selangor dan Pelabuhan Klang apabila Indeks Pencemaran Udara (IPU) di dua kawasan ini melebihi nilai 500 (Mahmud, 2008). Walaubagaimanapun, jerebu teruk ini tidak begitu menjejaskan beberapa kawasan di selatan, pantai timur dan utara Semenanjung seperti di Kota Bharu, Johor Bahru, Georgetown dan Terengganu (New Straits Times, 2005).

Pencemaran udara bukan sahaja disebabkan oleh zarah-zarah terampai, bahkan ia juga berlaku disebabkan oleh gas-gas beracun dan berbahaya yang berlebihan di udara. Zarah-zarah terampai terdiri daripada 70 peratus (%) zarah karbon, 20 % debu tanah dan 10 % tidak diketahui puncanya. Manakala gas berbahaya pula terdiri daripada gas karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO_2), ozon (O_3) dan sulfur dioksida (SO_2). Zarah terampai yang mempunyai saiz kurang daripada 10 mikron (PM_{10}) dicerap jumlah kuantitinya di udara dengan menggunakan alat khas di stesen kualiti udara yang dikendalikan oleh Alam Sekitar Malaysia yang di kontrak oleh Jabatan Alam Sekitar, Kementerian Sumber Asli dan Alam Sekitar.

Pada umumnya, kualiti udara di Pulau Pinang antara tahun 1997 hingga 2001 merosot berdasarkan Indeks Pencemaran Udara (IPU). Terdapat tiga stesen pengawasan kualiti udara automatik (CAQM) iaitu di bahagian Pulau, Seberang Perai dan Seberang Jaya. Pada keseluruhannya, status kualiti udara masih berada pada tahap sederhana sihat (Jadual 1) (Laporan Pemeriksaan Rancangan Struktur Negeri Pulau Pinang 2005-2020).

Jadual 1. Perbandingan Status Kualiti Udara (IPU) Pulau Pinang, 1997-2001

| Stesen Pengawasan | 1997 | 1998 | Tahun 1999 | 2000 | 2001 |
|--|------|------|---------------|------|------|
| Pulau Pinang (Universiti Sains Malaysia) | - | 28 | 28 | 32 | 38 |
| Seberang Perai (Institut Latihan Perindustrian Perai) | 57 | 51 | 61 | 62 | 55 |
| Seberang Jaya (Sek. Keb. Seberang Jaya 2) | 51 | 40 | 40 | 53 | 55 |

Sumber: Malaysian Environment Quality Report, 2004

Melalui IPU yang diperolehi, kualiti udara di Pulau Pinang telah menunjukkan keadaan yang semakin merosot. Keadaan ini berpunca daripada pembebasan gas-gas beracun di udara termasuk asap kenderaan bermotor, aktiviti perindustrian yang semakin berkembang dan aktiviti pembakaran secara besar-besaran yang dilakukan tanpa pengawasan. Kadar IPU yang meningkat akan mewujudkan pelbagai kesan kepada persekitaran hidup masyarakat seperti ketidakselesaan hidup dan masalah penyakit. Fenomena alam sekitar seperti jerebu juga turut akan berlaku yang menghadkan jarak penglihatan dan disebabkan oleh zarah-zarah yang terampai di udara di dalam kepekatan yang tinggi sehingga menghalang penembusan cahaya matahari menyebabkan udara kelihatan seperti asap.

Pulau Pinang merupakan antara negeri yang pesat membangun di Malaysia selain Selangor. Saban tahun berlaku pertambahan kenderaan persendirian dan awam di negeri ini. Keadaan jalan yang sempit di Pulau Pinang memburukkan lagi keadaan. Selain itu, perkembangan ekonomi dan perindustrian menyebabkan lebih banyak lori, treler, dan bas kilang di jalan raya negeri ini. Permintaan terhadap perkhidmatan kenderaan awam seperti bas dan teksi telah menambah bilangan kenderaan-kenderaan tersebut di jalanraya di Pulau Pinang. Ini menyebabkan gas-gas berbahaya yang terhasil memberi kesan kepada kualiti udara negeri ini.

Tujuan kajian

Kajian ini dilakukan adalah untuk mengkaji dan melihat tahap pencemaran udara di Perai berdasarkan kepada bahan pencemar zarah terampai iaitu karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), ozon (O₃), sulfur dioksida (SO₂) dan habuk halus (PM₁₀). Perai merupakan zon perindustrian yang banyak menghasilkan zarah terampai daripada aktiviti-aktiviti industri yang melibatkan industri berat, sederhana dan Industri Kecil & Sederhana (IKS). Perindustrian yang terdapat di Perai adalah berorientasikan umum seperti industri elektronik dan elektrik, tekstil, plastik dan getah, pemprosesan makanan, berasaskan kimia, logistik dan pergudangan serta industri berasaskan logam. Kajian ini dilakukan untuk melihat sama ada fenomena jerebu yang melanda Selangor pada Ogos 2005 mempengaruhi kawasan Perai.

Kawasan kajian

Pulau Pinang merupakan salah sebuah negeri di Malaysia yang pesat membangun dengan aktiviti perindustrian terutamanya di Zon Perindustrian Perai. Lembaga Kemajuan Wilayah Pulau Pinang (PERDA) merupakan salah satu agensi utama yang memainkan peranan dalam memajukan dan menggalakkan perindustrian di kawasan Seberang Perai. PERDA telah ditubuhkan pada 1 Jun 1983 di bawah Akta Lembaga Kemajuan Wilayah Pulau Pinang, Akta 282. PERDA lebih memberi penekanan kepada perkembangan Industri Kecil dan Sederhana (IKS). IKS milik PERDA terdapat di Bukit Minyak iaitu di Mukim 14 yang mempunyai keluasan 71 ekar (28.4 hektar) dengan 57 unit kilang (Laporan Teknikal, Rancangan Tempatan Daerah Seberang Perai Tengah 2006-2020).

Selain daripada PERDA, agensi seperti Perbadanan Kemajuan Pulau Pinang (PDC) juga turut memainkan peranan penting dalam pembangunan perindustrian di Pulau Pinang. PDC giat mempromosikan Seberang Perai dan Bayan Lepas sebagai kawasan perindustrian dan pelaburan utama. Sebanyak 50 projek daripada 110 projek yang diluluskan di Pulau Pinang berada di kawasan Seberang Perai. Ini menunjukkan bahawa Seberang Perai merupakan kawasan perindustrian yang pesat (Laporan Teknikal, Rancangan Tempatan Daerah Seberang Perai Tengah 2006-2020).

Kebanyakan aktiviti perindustrian adalah tertumpu di kawasan Seberang Perai. Secara keseluruhannya, sebanyak 20 buah kawasan perindustrian yang terdapat di Seberang Perai

meliputi keluasan kira-kira 4,468.2 hektar manakala di bahagian Pulau pula terdapat 8 buah kawasan perindustrian iaitu seluas 739.79 hektar. Selain daripada PERDA dan PDC yang merupakan agensi utama yang membangunkan kawasan perindustrian di Pulau Pinang, Lembaga Kemajuan Perindustrian Malaysia (MIDA) juga memainkan peranan yang penting dalam pembangunan perindustrian di Pulau Pinang.

Aktiviti perindustrian di Pulau Pinang secara amnya adalah berkisar kepada aktiviti yang berorientasikan eksport, seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2. Daerah Timur Laut dan Seberang Perai Selatan lebih menumpu kepada aktiviti Industri Kecil dan sederhana (IKS). Aktiviti perindustrian yang berorientasikan eksport banyak terdapat di Daerah Barat Daya terutamanya di Zon Bebas Cukai (FTZ) Bayan Lepas dan Daerah Seberang Perai Tengah iaitu di Seberang Jaya dan Perai FTZ. Daerah Seberang Perai Utara pula, kebanyakan aktiviti perindustriannya adalah terdiri dari jenis IKS dan umum. Jenis aktiviti perindustrian ringan dijalankan terutamanya di Kawasan Perindustrian Bayan Lepas. Kawasan Perindustrian Technoplex pula menjalankan aktiviti perindustrian yang berteknologi tinggi dan aktiviti penyelidikan dan pembangunan. Terdapat juga industri pengeluaran pakaian di Pulau Pinang terutamanya di Kawasan Perindustrian Perai.

Jadual 3 menunjukkan terdapat sejumlah 5,708 pertubuhan industri yang beroperasi di Pulau Pinang pada tahun 2000 berbanding dengan 2,643 pertubuhan industri pada tahun 1995 dengan Kadar Pertumbuhan Purata Tahunan (KPPT) berada pada paras 16.6 %. Kawasan tumpuan utama aktiviti perindustrian di Pulau Pinang adalah di Daerah Seberang Perai Tengah dengan liputan 1,011 pertubuhan (38.2 %) pada tahun 1995 dan meningkat kepada 1,720 pertubuhan (30.1 %) pada tahun 2000. Bilangan pertubuhan yang banyak di dalam daerah ini adalah disebabkan terdapat banyak kawasan perindustrian yang baru dan mempunyai kawasan yang luas.

Daerah Timur Laut yang mempunyai 2,068 pertubuhan pada tahun 2000 merupakan daerah kedua terpenting bagi aktiviti perindustrian di Pulau Pinang. Walaupun daerah ini mempunyai bilangan pertubuhan perindustrian yang tertinggi pada tahun 2000 berbanding dengan daerah-daerah lain, namun ia hanya dikategorikan sebagai kedua terpenting disebabkan kebanyakan aktiviti perindustrian yang dijalankan adalah dari jenis IKS. Di samping itu, peratusan peningkatan yang tinggi bagi pertubuhan perindustrian di daerah ini adalah disebabkan pusat Bandar Georgetown yang merupakan kawasan tumpuan industri-industri kecil. Bilangan pertubuhan industri yang tinggi di daerah Timur Laut ini adalah disebabkan oleh kemasukan aktiviti industri yang dijalankan di premis-premis kilang bertingkat di dalam kawasan bandar.

Daerah Seberang Perai Utara merupakan tumpuan ketiga aktiviti perindustrian di Pulau Pinang yang merangkumi sejumlah 1,001 pertubuhan iaitu 17.6 % daripada jumlah pertubuhan perindustrian dalam negeri. Daerah Barat Daya dan Daerah Seberang Perai Selatan pula masing-masing mempunyai sejumlah 506 pertubuhan (8.9 %) dan 413 pertubuhan (7.2 %) masing-masing dengan Daerah Barat Daya menunjukkan peningkatan dalam peratusan sumbangan kepada aktiviti perindustrian di Pulau Pinang dalam tahun 2000. Rajah 1 menunjukkan kawasan perindustrian Perai, Pulau Pinang.

Jadual 2. Taburan pertubuhan kawasan perindustrian Negeri Pulau Pinang, 2000

| Daerah | Kawasan Perindustrian | Kod Spesifikasi | Jenis Aktiviti Perindustrian |
|------------------------|-------------------------|-----------------|--------------------------------|
| Timur Laut | Jalan Gurdwara | 1 | Ringan |
| | Sungai Pinang | 2 | IKS |
| Barat Daya | Diamond Valley | 1 | Ringan |
| | Bayan Lepas | 1 | Ringan |
| | Bayan Lepas 4 | 1 | Ringan |
| | Bayan Lepas FTZ 1 | 3 | Berorientasikan Eksport |
| | Bayan Lepas FTZ 2 | 3 | Berorientasikan Eksport |
| | Bayan Lepas FTZ 3 | 3 | Berorientasikan Eksport |
| | Bayan Lepas FTZ 4 | 3 | Berorientasikan Eksport |
| | Technoplex | 3 | R&D/Teknologi Tinggi |
| Seberang Perai Utara | Subgai Lokan | 2 | IKS |
| | Jalan Raja Uda | 2 | IKS |
| | Jalan Siram | 2 | IKS |
| | Bagan Lalang | 2 | IKS |
| | Mak Mandin | 1 | Umum |
| | Kubang Menerong | 2 | IKS |
| Seberang Perai Tengah | Bukut Minyak (PERDA) | 2 | IKS |
| | Juru | 1 & 2 | Umum & IKS |
| | Alma | 1 | Umum |
| | Permatang Tinggi | 1 | Umum |
| | Ceruk To'Kun | 1 | Umum |
| | Bukit Minyak (Fasa 1-4) | 1 & 2 | Umum & IKS |
| | Bukit Tengah | 1 | Umum |
| | Seberang Jaya | 3 | Ringan/berorientasikan Eksport |
| | Prai | 1 | Umum |
| | Prai FTZ | 3 | Berorientasikan Eksport |
| Seberang Perai Selatan | Prai Wharf FTZ | 4 | Pakaian |
| | Nibong Tebal | 2 | IKS |
| | Valdor | 1 & 2 | Umum & IKS |
| | Batu Kawan | 3 | R&D/Teknologi Tinggi |
| | Tasek | 2 | IKS |
| | Simpang Ampat | 2 | IKS |

Estet-estet perindustrian Ringan, Ringan & Sederhana, Ringan dan Umum, dan Ringan & Berat dikategorikan sebagai estet perindustrian Umum

Kod :

Estet Perindustrian Umum (1)

Estet Perindustrian Khas IKS (2)

Teknologi Tinggi, R&D, berorientasikan Eksport (3)

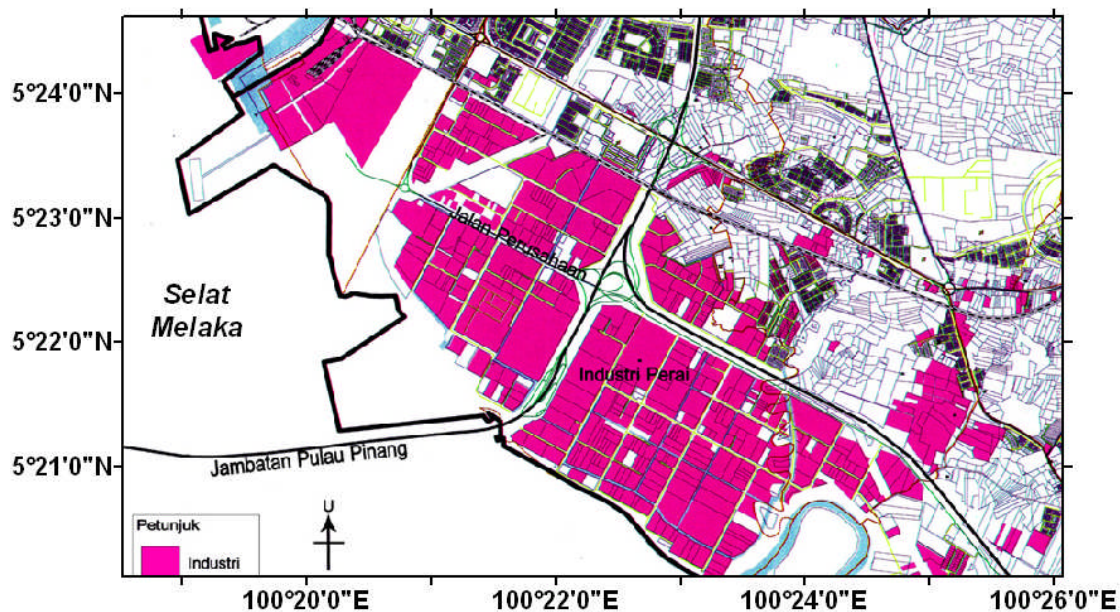
Tekstil, pakaian dan kasut (4)

Sumber: Draf Rancangan Tempatan Jawi-Nibong Tebal-Sungai Bakap, 2000

Jadual 3. Taburan Pertumbuhan Industri, 1995 dan 2000

| Daerah | 1995 | | 2000 | |
|------------------------|----------|-------|----------|-------|
| | Bilangan | % | Bilangan | % |
| Timur Laut | 462 | 17.5 | 2 068 | 36.2 |
| Barat Daya | 203 | 7.7 | 506 | 8.9 |
| Seberang Perai Utara | 771 | 29.2 | 1 001 | 17.6 |
| Seberang Perai Tengah | 1 011 | 38.2 | 1 720 | 30.1 |
| Seberang Perai Selatan | 196 | 7.4 | 413 | 7.2 |
| Jumlah | 2 643 | 100.0 | 5 708 | 100.0 |

Sumber: i. Rancangan Struktur (Pengubahan) MPPP, 2000
ii. Draf Laporan Teknikal Rancangan Tempatan George Town 1,2 & 3 1997- 2010
iii. Draf Rancangan Tempatan Jawi – Nibong Tebal – Sg. Bakap, 2000



Rajah 1. Peta kawasan Perindustrian Perai

Sumber: Jabatan Perancang Bandar, Majlis Perbandaran Seberang Perai

Metodologi dan bahan

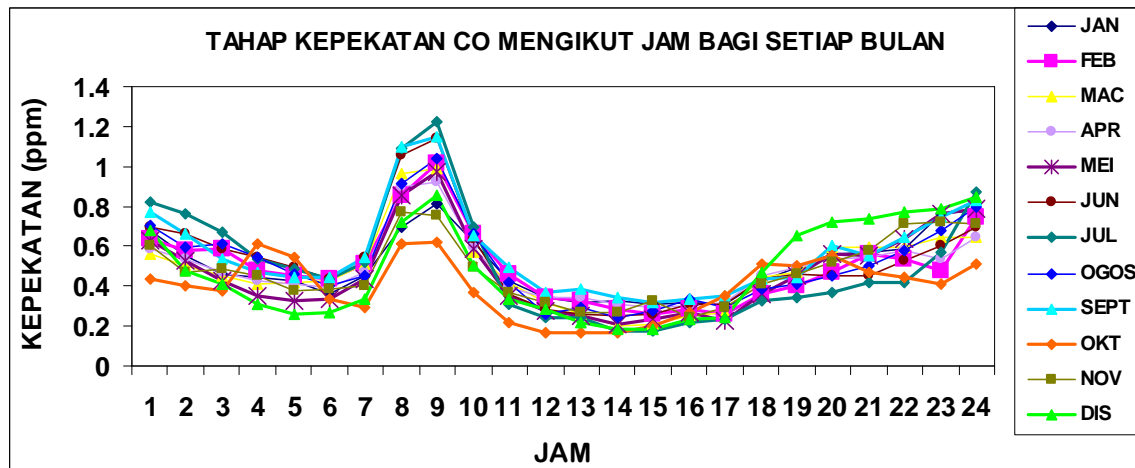
Data untuk kualiti udara dan cuaca diperolehi daripada jabatan Alam Sekitar dan Jabatan Meteorologi Malaysia. Analisis regresi dan korelasi digunakan sebagai teknik untuk mengukur sejauhmana hubungan di antara bahan pencemar dengan parameter cuaca yang terlibat. Teknik regresi multivariat digunakan untuk menganalisis data di dalam kajian ini kerana ianya sesuai untuk menganalisis bilangan pembolehubah yang terdiri daripada beberapa parameter.

Hasil kajian

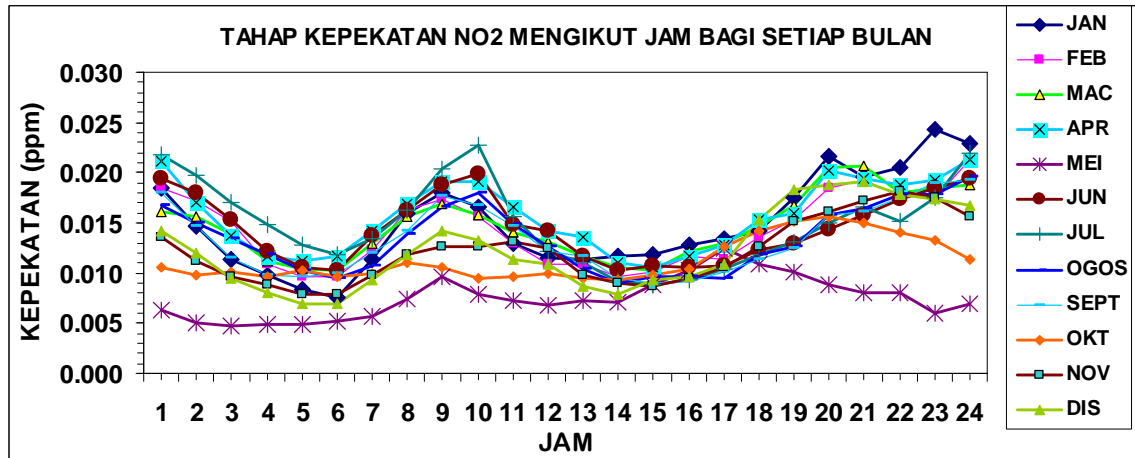
Analisis data yang dilakukan adalah mengikut tren jam selama 24 jam bagi setiap bulan pada tahun 2005 dan tren bulanan iaitu dari Januari hingga Disember pada tahun yang sama untuk bahan pencemar udara seperti karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), habuk halus (PM₁₀), sulfur dioksida (SO₂) dan ozon (O₃).

Rajah 2 menunjukkan tahap kepekatan gas CO mengikut jam bagi setiap bulan pada tahun 2005. Secara keseluruhannya, pada waktu siang antara jam 8 hingga 9 pagi merekodkan jumlah tertinggi gas CO di udara pada setiap bulan pada kepekatan antara 0.6 ppm hingga 1.3 ppm. Keadaan ini berlaku disebabkan jumlah kenderaan di jalan raya yang banyak pada waktu berkenaan membebaskan gas CO yang menyumbang kepada peningkatan kadar gas tersebut di udara. Julai merupakan bulan yang mencatat jumlah tertinggi tahap kepekatan yang melebihi 1.2 ppm. Pada sebelah malam, nilai yang ditunjukkan turut meningkat bagi kebanyakan bulan. Ini berpunca daripada kilang-kilang yang terdapat di kawasan kajian tetap beroperasi pada waktu malam dan turut membebaskan gas pencemar CO di udara.

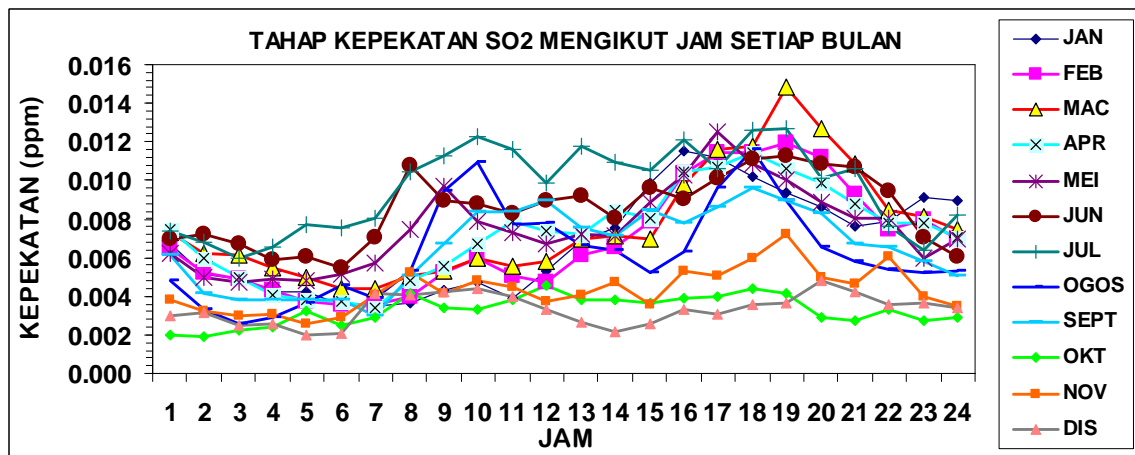
Rajah 3 memperlihatkan tren kepekatan NO₂ yang tidak sekata bagi setiap bulan dalam tempoh 24 jam. Bulan Julai mencatat jumlah tertinggi tahap kepekatan gas NO₂ iaitu 0.023 ppm pada waktu pagi jam 10 pagi. Walaubagaimanapun, pada waktu malam, bulan Januari mencatat jumlah tertinggi dengan nilai 0.024 ppm pada jam 11 malam. Bulan-bulan seperti Mac, April, Jun, Julai dan September menunjukkan peningkatan kadar gas NO₂ pada jam 11 malam. Pada waktu malam, kadar kepekatan gas NO₂ yang tinggi berlaku disebabkan oleh faktor kenderaan yang masih banyak di jalanraya menyebabkan pembebasan gas tersebut di udara selain dari faktor penjana kuasa dan aktiviti industri yang masih beroperasi.



Rajah 2. Kepekatan CO mengikut jam bagi setiap bulan pada tahun 2005



Rajah 3. Kepekatan NO_2 mengikut jam bagi setiap bulan pada tahun 2005



Rajah 4. Kepekatan SO_2 mengikut jam bagi setiap bulan pada tahun 2005

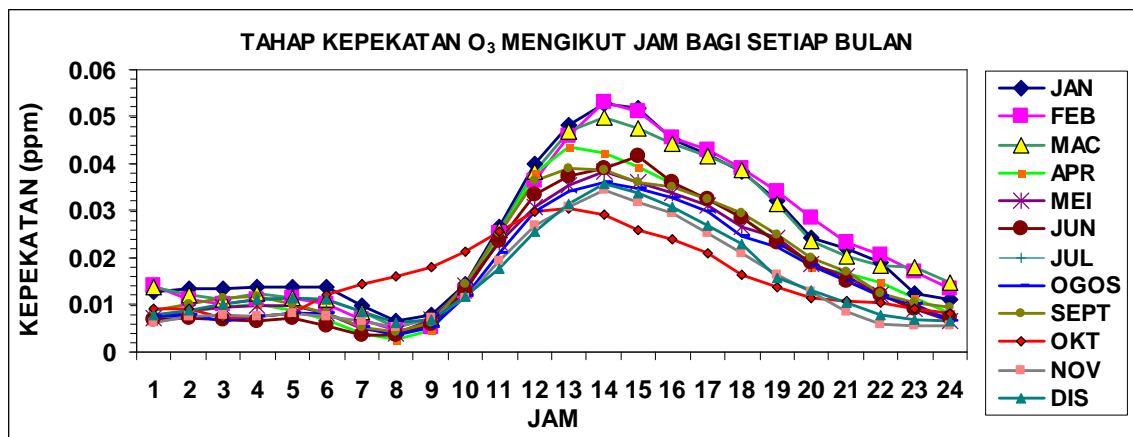
Antara jam 8 hingga 9 pagi merupakan waktu yang menunjukkan peningkatan tahap kepekatan bagi setiap bulan kecuali bulan Oktober yang mengalami penurunan. Faktor kilang-kilang yang giat beroperasi pada waktu tersebut menggalakkan berlakunya proses dan aktiviti yang menyumbang kepada pembebasan gas NO_2 . Mei merupakan bulan yang mempunyai tahap kepekatan yang berkadar rendah dalam tempoh 24 jam berbanding dengan bulan-bulan yang lain dengan purata 0.0075 ppm.

Antara jam 7 hingga 10 pagi, kebanyakan bulan mengalami peningkatan tahap kepekatan gas SO_2 dari 0.003 hingga 0.012 ppm (Rajah 4). Pada jam 7 malam, bulan Mac mencatat jumlah tahap kepekatan tertinggi sebanyak 0.015 ppm. Gas SO_2 yang terhasil berpunca daripada aktiviti industri proses dan juga pembebasan tenaga melalui penggunaan peralatan elektrik untuk aktiviti-aktiviti perindustrian seperti yang terdapat di kawasan perindustrian Perai. Keadaan ini memberi kesan negatif kepada kualiti udara di kawasan kajian apabila berlakunya penggunaan tenaga secara berlebihan tanpa pengawalan dimana penjimatan terhadap tenaga tidak berlaku.

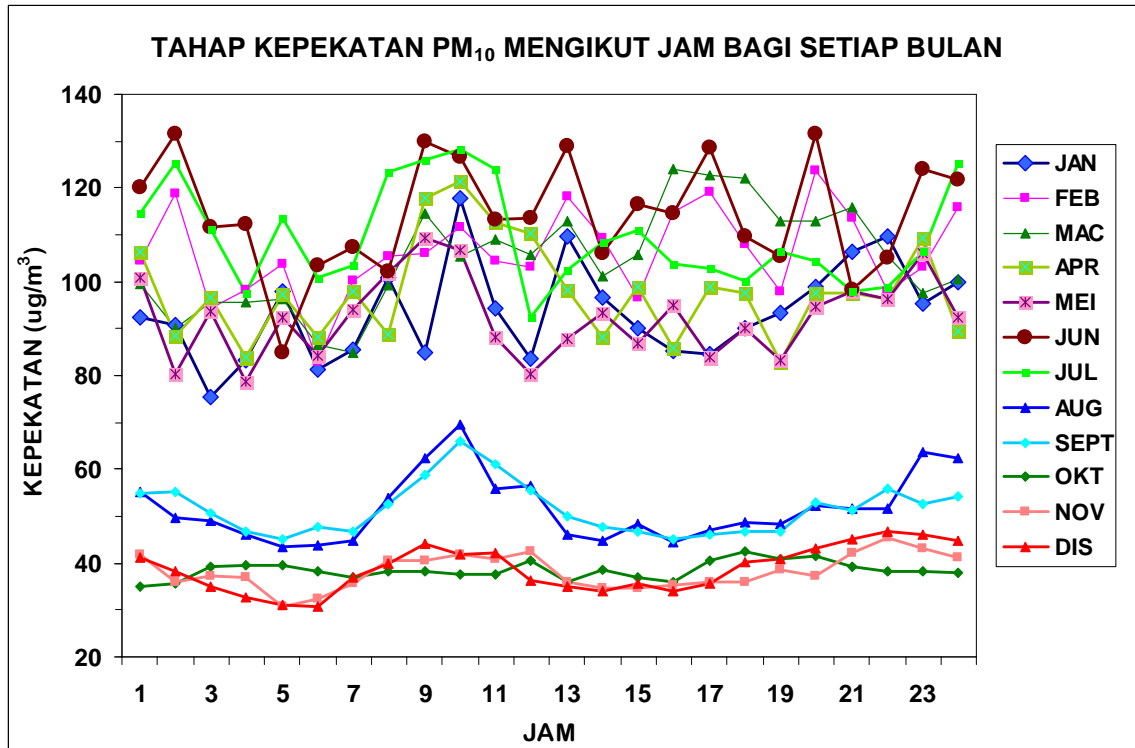
Rajah 5 menunjukkan berlakunya peningkatan O_3 yang mendadak pada tahap kepekatan O_3 bermula dari jam 9 pagi hingga 2 petang bagi hampir sepanjang bulan. Ini berpunca daripada pembebasan sebatian organik meruap (VOC) dan NO_x yang dilepaskan oleh kenderaan bermotor dan juga punca-punca perindustrian yang bertindak balas dengan sinaran suria (Isa, 2006). Pada waktu berkenaan, jumlah kenderaan di jalanraya adalah tinggi manakala kilang-kilang giat beroperasi menyebabkan berlakunya peningkatan tahap kepekatan bagi O_3 .

Dari bulan Januari hingga Julai nilai PM_{10} mencatat tahap kepekatan antara $70 \mu g/m^3$ hingga $140 \mu g/m^3$ dalam tempoh 24 jam (Rajah 6). Ini menunjukkan bahawa pada bulan-bulan kering, tahap kualiti udara berada dalam keadaan yang tidak sihat berbanding pada bulan Ogos hingga Disember yang menunjukkan tahap kualiti udara semakin baik. Bagaimanapun dari bulan Ogos hingga Disember tahap kepekatan PM_{10} di bawah $70 \mu g/m^3$ dalam tempoh 24 jam. Walaupun Ogos merupakan bulan berlakunya fenomena jerebu di Lembah Klang pada tahun 2005, namun ianya tidak memberi kesan yang teruk di kawasan Perai apabila kadar kepekatan yang di tunjukkan pada bulan tersebut adalah rendah.

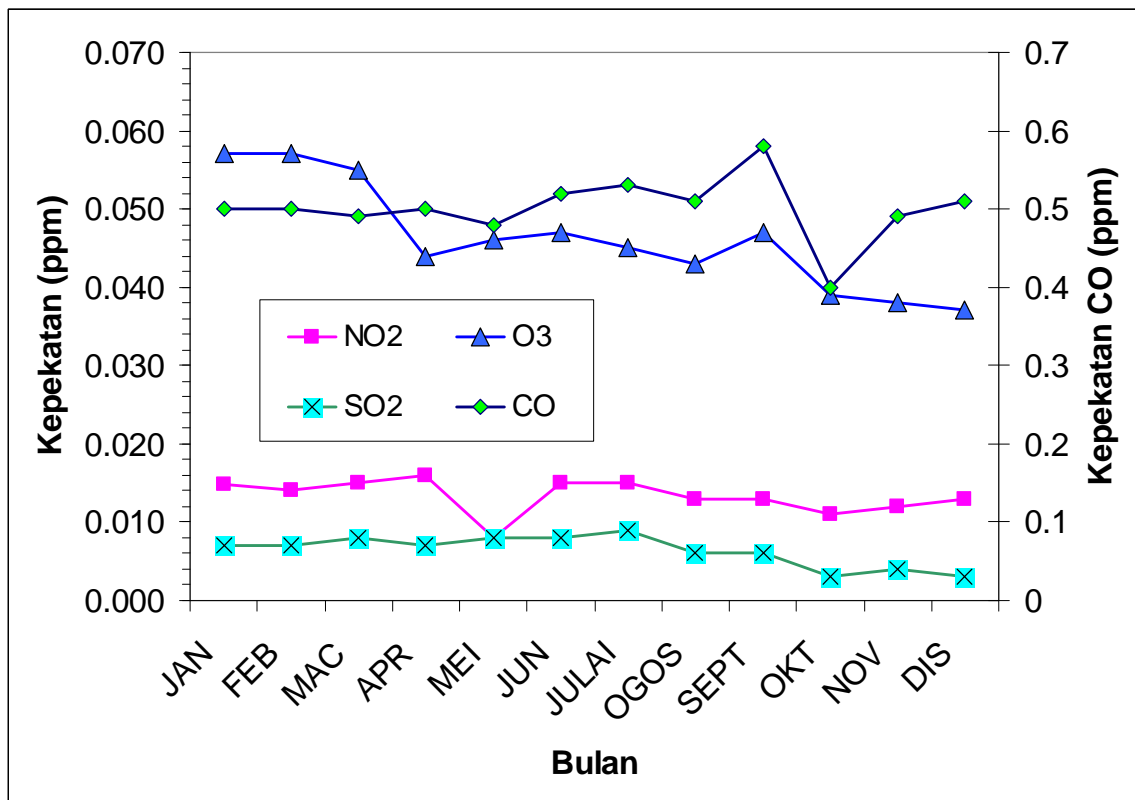
Tren bulanan pada Rajah 7 dengan ketara menunjukkan bahawa bulan Oktober mencatat bacaan terendah kadar kepekatan gas CO iaitu 0.4 ppm. Keadaan ini dipengaruhi oleh taburan hujan pada bulan tersebut yang tinggi iaitu 370 mm (Rajah 8). Walaubagaimanapun, September menjadi bulan yang mencatat jumlah tertinggi tahap kepekatan gas CO di udara dengan purata 0.58 ppm (Rajah 7). Penyumbang terbesar kepada pencemaran udara yang mewakili hampir 56% daripada jumlah keluaran CO seluruh dunia adalah daripada pembakaran bahan api yang menghasilkan asap kenderaan bermotor. Bahan api merupakan bahan organik dan mempunyai unsur karbon (Mohamad Zulezzuan, 2008). Justeru, paras CO yang tinggi di kawasan perindustrian Perai yang terletak di kawasan bandar berpunca dari kesesakan trafik yang juga tinggi.



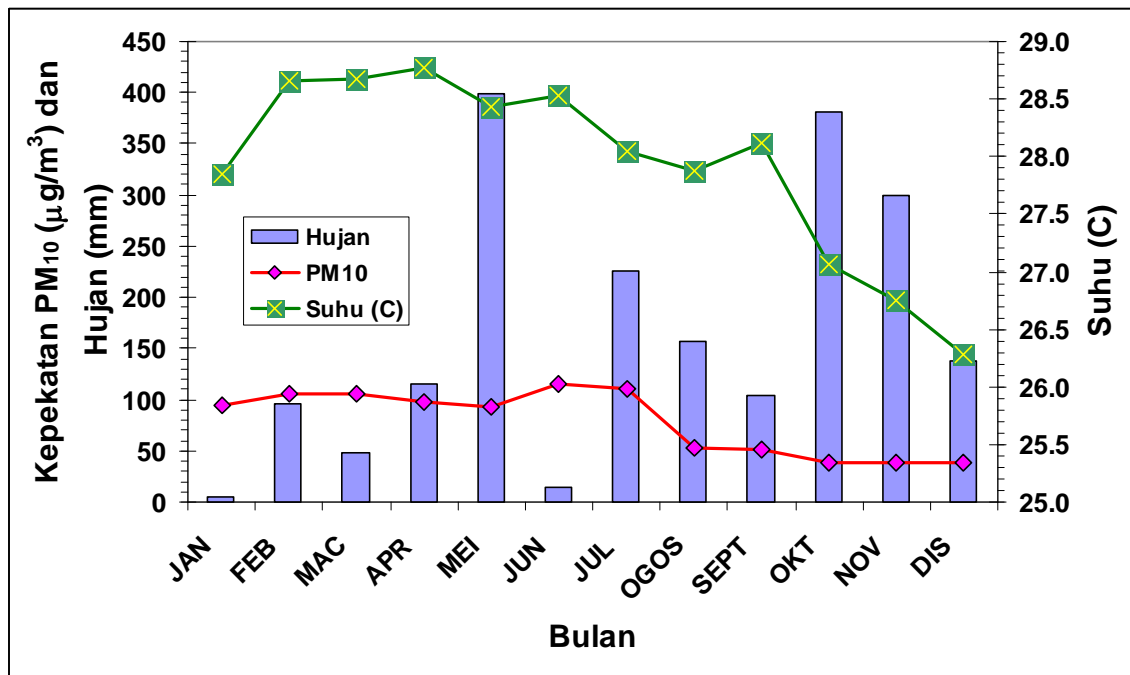
Rajah 5. Kepekatan Ozon mengikut jam bagi setiap bulan pada tahun 2005



Rajah 6. Kepekatan habuk halus mengikut jam bagi setiap bulan pada tahun 2005



Rajah 7. Kepekatan CO, NO₂, O₃ dan SO₂ mengikut bulan pada tahun 2005



Rajah 8. Purata taburan hujan, suhu dan kepekatan PM_{10} sepanjang tahun 2005

NO_2 adalah gas berwarna merah keperangan yang merupakan gas yang amat reaktif yang terbentuk di persekitaran udara melalui oksidasi nitrogen monoksida (NO) (Jabatan Perangkaan Malaysia, 2008b). Melalui Rajah 7, kebanyakan bulan secara purata mencatat kadar kepekatan gas NO_2 di atas paras 0.012 ppm. Kadar yang agak tinggi ini dipengaruhi oleh aktiviti pengangkutan yang melibatkan pelbagai jenis kenderaan di kawasan kajian yang banyak menyebabkan berlakunya pembebasan bahan pencemar NO_2 di udara.

Pada tahun 2005, tahap kepekatan PM_{10} bulan Jun mencatat jumlah tertinggi dengan purata $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rajah 8). Jerebu yang berlaku pada tahun tersebut memberi kesan kepada jumlah zarah terampai di udara dan seterusnya meningkatkan tahap kepekatan bahan pencemar tersebut di samping bulan Jun yang kering, dengan jumlah hujannya yang kurang daripada 10 mm. Kebakaran hutan yang luas dan berskala besar merupakan punca utama terhasilnya bahan pencemar PM_{10} yang tinggi. Termasuk bulan Jun, tujuh bulan yang terawal juga menunjukkan purata tahap kepekatan yang tinggi dengan berada pada paras melebihi $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Walaupun bagaimanapun, kejatuhan yang ketara dapat dilihat berlaku pada bulan Ogos dan diikuti dengan bulan-bulan seterusnya yang mencatat jumlah purata di bawah paras $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Keadaan ini boleh dikaitkan dengan kesedaran pengilang-pengilang yang sudah mula mengambilkira faktor alam sekitar berikutan fenomena jerebu yang berlaku pada bulan Ogos tahun tersebut. Selain itu, pengawalan alam sekitar oleh pihak bertanggungjawab seperti JAS semasa berhadapan dengan fenomena jerebu membantu dalam mengurangkan aktiviti manusia seperti pembakaran terbuka yang boleh meningkatkan kadar PM_{10} di udara.

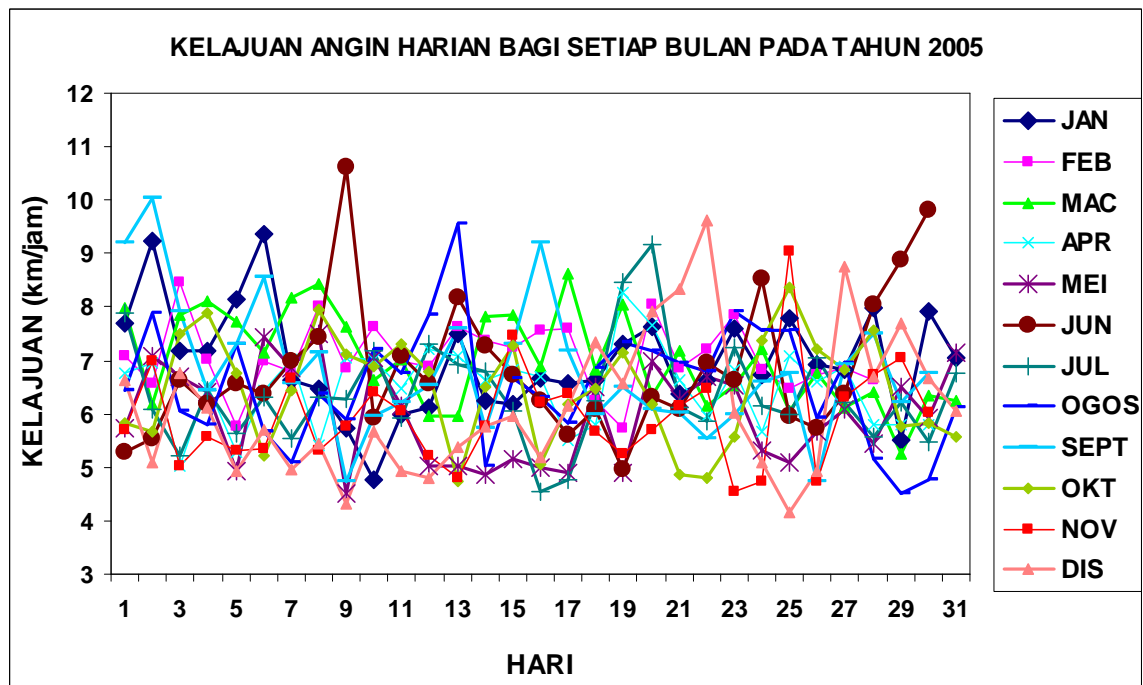
Purata keseluruhan tahap kepekatan SO_2 bagi keseluruhan bulan pada tahun 2005 adalah 0.006 ppm (Rajah 7). Jumlah ini menunjukkan kandungan SO_2 di udara masih berada pada paras yang rendah dan terkawal. Walaupun bagaimanapun, kebanyakan bulan mempunyai purata tahap kepekatan di atas 0.006 ppm dengan bulan Julai mencatat jumlah tertinggi iaitu 0.009 ppm. Ini berpunca daripada pembebasan tenaga yang banyak berlaku di kawasan kajian melalui aktiviti-aktiviti industri dan aktiviti harian rumah di kawasan sekitar. Penjualan tenaga elektrik pada kadar yang tinggi dan jangka masa yang lama seperti penggunaan mesin, lampu dan penghawa

dingin di kawasan perindustrian menyumbang kepada pembebasan tenaga yang banyak. Ini seterusnya meningkatkan kepekatan SO_2 di udara.

Tahap kepekatan yang tinggi bagi bulan Januari, Februari dan Mac bagi tren jam adalah sama kadarnya dengan jumlah purata yang ditunjukkan bagi ketiga-tiga bulan tersebut mengikut tren bulanan iaitu melebihi 0.055 ppm (Rajah 7). Asap kenderaan bermotor dan pengeluaran dari industri, wap bahan api, sisa kimia dan sumber semula jadi boleh menyebarkan NO_x dan VOC. Cahaya matahari terhadap NO_x dan VOC menyebabkan ozon aras permukaan membentuk kepekatan meningkat di udara. Kawasan kajian merupakan kawasan yang sentiasa cenderung untuk mengandungi paras ozon yang tinggi kerana merupakan kawasan perindustrian yang besar.

Angin menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kadar kepekatan bahan pencemar di udara. Melalui Rajah 9, dapat dilihat bahawa kebanyakan bulan pada hari-hari tertentu menunjukkan purata kelajuan angin harian yang tinggi melebihi 9 km/jam. Keadaan ini menyebabkan tahap kepekatan kandungan bahan-bahan pencemar pada bulan-bulan tertentu juga berada pada kadar yang rendah. Pergerakan angin yang bersifat aktif dan kuat sewaktu bayu laut kerana Seberang Perai terletak di pinggir pantai akan menyebabkan bahan-bahan pencemar tidak mempunyai waktu untuk berkumpul kerana cepat disebarkan.

Pada bulan Mei dan Oktober, jumlah hujan adalah yang tertinggi iaitu masing-masing sebanyak 399.3 mm dan 381.2 mm (Rajah 8). Keadaan ini disebabkan oleh musim peralihan monsun iaitu dari bulan Mac hingga Mei dan Oktober hingga November. Kadar taburan hujan yang tinggi akan menyebabkan tahap kepekatan bahan-bahan pencemar menjadi kurang berbanding taburan hujan yang rendah. Ini adalah kerana titisan air hujan akan bertindak sebagai pembersih partikel-partikel yang terapung di udara. Pada bulan Januari dan Jun, taburan hujan adalah yang terendah dengan jumlah masing-masing iaitu 5.6 mm dan 14.4 mm. Kedudukan kawasan kajian di bahagian utara, keadaan kering yang ketara berlaku semasa Monsun Timur Laut di mana curahan hujan biasanya rendah. Ini menyebabkan tahap kepekatan bahan-bahan pencemar bagi dua bulan di atas adalah tinggi kerana taburan hujan yang rendah.



Rajah 9. Purata kelajuan angin harian bagi setiap bulan pada tahun 2005

Parameter angin, suhu dan taburan hujan turut mempengaruhi tahap kepekatan bahan pencemar yang terhasil di udara. Semakin kuat tiupan angin dan tinggi taburan hujan, maka tahap kepekatan sesuatu bahan pencemar di udara akan menjadi rendah. Selain itu, faktor kedudukan kawasan kajian yang berada di bahagian utara semenanjung serta dipengaruhi oleh pertukaran sistem angin Monsun Timur Laut dan Monsun Barat Daya akan menghasilkan perbezaan min suhu sama ada naik atau turun dan taburan hujan sama ada tinggi atau rendah di kawasan kajian.

Analisis regresi ini bertujuan untuk melihat hubungan di antara kepekatan PM_{10} dengan parameter cuaca tersebut. Data-data pencemaran udara dan parameter cuaca telah dianalisis dengan menggunakan teknik regresi multivariat dan korelasi mengikut pecahan tiga kategori bulan. Analisis pertama dilakukan dengan mengambil data bagi keseluruhan bulan (Januari-Disember), kedua data dari bulan Januari hingga Julai dan ketiga data dari bulan Ogos hingga September. Analisis ini dipecahkan kepada tiga tempoh bulan yang dinyatakan berikutan kerana hasil kepekatan PM_{10} dalam Rajah 4 menunjukkan perbezaan yang ketara di antara bulan Januari hingga Julai dengan Ogos hingga Disember. Oleh itu, parameter cuaca iaitu hujan dan kelajuan angin digunakan untuk melihat sejauhmana pengaruh parameter cuaca ini sehingga berlakunya perbezaan yang ketara pada tahap kepekatan PM_{10} . Justeru, melalui analisis ini, tahap kekuatan dan kelemahan kepekatan PM_{10} dan hubungannya dengan parameter cuaca yang dikaji dapat ditinjau.

Terdapat hubungan di antara kepekatan PM_{10} dengan hujan dan kelajuan angin. Ini dapat dilihat dalam Jadual 4 yang menunjukkan hasil analisis regresi multivariat dan korelasi bagi bulan Januari hingga Disember pada tahun 2005. Pekali penentuan yang ditunjukkan oleh R^2 bagi bulan Januari hingga Disember adalah 0.053, yang menandakan bahawa kedua pembolehubah bebas iaitu hujan dan kelajuan angin berupaya mempengaruhi kepekatan PM_{10} kira-kira 5.3 %. Pekali korelasi pula menunjukkan wujud perhubungan yang lemah dan songsang, -0.188, antara kepekatan PM_{10} dengan hujan. Ini menunjukkan PM_{10} semakin meningkat dalam keadaan kurang hujan. Perhubungan yang lemah juga berlaku pada pembolehubah kelajuan angin sebanyak 0.152. Dari Januari ke Julai 2005 pula jumlah perubahan yang dijelaskan oleh pembolehubah bebas iaitu hujan dan kelajuan angin ialah 3.4 % berbanding dengan nilai 4.4 % untuk tempoh Ogos ke Disember.

Korelasi hubungan antara kepekatan PM_{10} dengan pembolehubah hujan bagi tempoh tujuh bulan ini adalah -0.183. Nilai negatif ini menunjukkan bahawa wujud perhubungan yang lemah dan songsang antara kepekatan PM_{10} dengan pembolehubah hujan. Perhubungan yang sangat lemah juga berlaku pada pembolehubah kelajuan angin dengan pekali korelasi sebanyak 0.042 berbanding dengan bulan Januari hingga Julai dan juga dari Ogos hingga Disember dengan pekali korelasi yang menghampiri 0.13.

Perkaitan antara kepekatan PM_{10} dengan pembolehubah hujan dari Ogos ke Disember adalah lemah dan songsang iaitu -0.164. Ini menunjukkan bahawa pengurangan dalam jumlah hujan akan membawa kepada peningkatan dalam kepekatan PM_{10} . Wujud perhubungan yang juga lemah pada pembolehubah kelajuan angin dengan menghasilkan nilai pekali korelasi iaitu 0.127.

Keseluruhannya, pekali penentuan yang ditunjukkan oleh R^2 bagi setiap pecahan tempoh bulan yang dianalisis adalah di antara 3 hingga 6 %. Ini membuktikan bahawa pembolehubah bebas berupaya mempengaruhi perubahan kepekatan PM_{10} tetapi mempunyai pengaruh yang kecil. Pembolehubah bebas iaitu hujan menunjukkan perhubungan yang kuat dengan kepekatan PM_{10} bagi setiap pecahan tempoh bulan. Ini dibuktikan apabila nilai pekali yang dihasilkan adalah negatif di mana Januari hingga Disember (-0.439), Januari hingga Julai (-0.309), dan Ogos hingga Disember (-0.251). Walaubagaimanapun, terdapat perbezaan jumlah nilai pekali untuk ketiga-tiga pecahan tempoh bulan ini. Ini berkaitan dengan jumlah hujan yang diterima iaitu bagi keseluruhan 12 bulan adalah 1983 mm, tujuh bulan yang pertama mencatat sebanyak 904 mm manakala lima bulan terakhir mencatat jumlah sebanyak 1079 mm. Justeru, dapat dibuktikan bahawa sekiranya kepekatan PM_{10} yang terhasil adalah tinggi, maka jumlah hujan yang diterima adalah berkurangan.

Jadual 4. Hasil regresi multivariat dan korelasi pada tahun 2005

| Nilai | Januari - Disember | Januari – Julai | Ogos - Disember |
|--------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| R berbagai | 0.231 | 0.184 | 0.210 |
| R berganda | 0.053 | 0.034 | 0.044 |
| Ralat piawai | 33.603 | 22.036 | 21.139 |
| Cerapan | 365 | 212 | 153 |
| Korelasi: | | | |
| a) Hujan | -0.188 | -0.183 | -0.164 |
| b) Angin | 0.152 | 0.042 | 0.127 |

Jadual 5. Persamaan regresi untuk 3 tempoh masa kajian

| Tempoh | Persamaan regresi |
|---------------------|---------------------------------------|
| Januari ke Disember | $Y = 54.33 - 0.439 X_1 + 4.295 X_2$ |
| Januari ke Julai | $Y = 102.974 - 0.309 X_1 + 0.145 X_2$ |
| Ogos ke Disember | $Y = 35.111 - 0.251 X_1 + 2.433 X_2$ |

di mana, Y ialah kepekatan PM_{10} ($\mu g/m^3$), X_1 ialah hujan (mm), dan X_2 ialah kelajuan angin (km/jam)

Keadaan ini berbeza dengan pembolehubah bebas iaitu kelajuan angin apabila tidak wujud perhubungan yang kuat terhadap kepekatan PM_{10} . Hal ini dapat dibuktikan apabila nilai pekali yang dihasilkan adalah positif bagi setiap pecahan tempoh bulan iaitu 4.295 (Januari hingga Disember), 0.145 (Januari hingga Julai), dan 2.433 (Ogos hingga Disember). Ini menunjukkan bahawa kelajuan angin tidak mempunyai kaitan yang rapat dengan kepekatan PM_{10} berbanding hujan. Apabila dikaitkan dengan purata angin, bulan Januari hingga Julai mencatat jumlah yang tinggi iaitu sebanyak 6.68 km/jam berbanding Ogos hingga Disember yang berjumlah 6.39 km/jam.

Bagi hasil analisis korelasi, pembolehubah hujan menunjukkan perhubungan yang lemah dan songsang terhadap kepekatan PM_{10} bagi kajian untuk bulan Januari hingga Disember, Januari hingga Julai dan Ogos hingga Disember. Nilai pekali korelasi yang dihasilkan bagi ketiga-tiga pecahan tempoh bulan ini adalah masing-masing sebanyak -0.188, -0.184, dan -0.164. Nilai pekali korelasi negatif yang dihasilkan ini menunjukkan bahawa semakin meningkat kepekatan PM_{10} , semakin berkurang jumlah hujan yang diterima. Bagi pembolehubah kelajuan angin pula menunjukkan perkaitan yang lemah terhadap kepekatan PM_{10} dengan nilai pekali korelasi yang dihasilkan bagi bulan Januari hingga Disember (0.152), Januari hingga Julai (0.042), dan Ogos hingga Disember (0.127).

Kesimpulan

Zon Perindustrian Perai merupakan salah satu kawasan yang pesat dengan aktiviti perindustrian di Pulau Pinang. Kepesatan dalam kepelbagaian aktiviti perindustrian ini menjadi punca kepada berlakunya pembebasan gas-gas berbahaya dan bahan pencemar iaitu karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), habuk halus (PM_{10}), sulfur dioksida (SO₂) dan ozon (O₃) di atmosfera. Tahap kepekatan bahan-bahan pencemar ini di udara ditambah lagi dengan faktor lain iaitu faktor manusia seperti aktiviti pembakaran dan faktor tempatan daripada aktiviti kenderaan bermotor. Kepekatan bahan-bahan pencemar tersebut yang tinggi memberi pengaruh yang kuat terhadap kualiti udara. Suhu, hujan dan angin pula merupakan parameter cuaca yang mempengaruhi tahap kepekatan bahan-bahan pencemar tersebut di udara.

Secara keseluruhannya, fenomena jerebu yang melanda Semenanjung Malaysia pada bulan Ogos, 2005 tidak memberi kesan yang teruk terhadap kawasan Perai. Hal ini dapat dilihat dimana kadar kepekatan bahan-bahan pencemar yang dikaji tidak berada pada tahap yang tinggi pada bulan Ogos.

Analisis regresi multivariate yang dilakukan mengikut pecahan tiga tempoh iaitu Januari hingga Disember, Januari hingga Julai, dan Ogos hingga Disember menunjukkan bahawa hujan mempunyai pengaruh yang lebih kuat terhadap kepekatan PM_{10} di udara berbanding kelajuan angin. Ini dibuktikan apabila nilai pekali yang dihasilkan adalah negatif pada Januari hingga Disember (-0.439), Januari hingga Julai (-0.309), dan Ogos hingga Disember (-0.251) manakala nilai pekali yang dihasilkan oleh kelajuan angin adalah positif iaitu 4.295 (Januari hingga Disember), 0.145 (Januari hingga Julai), dan 2.433 (Ogos hingga Disember). Hasil analisis korelasi pula menunjukkan bahawa hujan mempunyai hubungan yang lemah dan songsang terhadap kepekatan PM_{10} . Nilai pekali korelasi yang dihasilkan adalah -0.188 (Januari hingga Disember), -0.184 (Januari hingga Julai), dan -0.164 (Ogos hingga Disember). Kelajuan angin turut menunjukkan pengaruh yang lemah dengan nilai pekali korelasi yang dihasilkan adalah 0.152, 0.042, dan 0.127 bagi ketiga-tiga pecahan tempoh bulan. Keputusannya, semakin kurang taburan hujan, maka semakin meningkat kepekatan PM_{10} . Semakin tinggi kelajuan angin, maka kepekatan PM_{10} juga akan meningkat.

Selain daripada PM_{10} , peningkatan tahap kepekatan bahan-bahan pencemar yang lain di udara sememangnya mewujudkan kesan-kesan yang tidak baik terhadap kesihatan udara. Kesan yang sudah pasti akan timbul adalah kejadian yang melibatkan fenomena-fenomena cuaca iaitu jerebu, hujan asid dan kesan rumah hijau. Selain itu, kesannya turut mengganggu kesihatan, dan menyebabkan pemendapan berasid. Justeru, walaupun pencemaran udara merupakan suatu masalah yang sukar untuk ditangani sepenuhnya, namun langkah pengawalan terhadap punca-punca pencemaran perlu dilakukan supaya ianya tidak berterusan berlaku.

Rujukan

- Draf Laporan Teknikal Rancangan Tempatan George Town 1, 2 & 3, 1997-2010, Majlis Perbandaran Pulau Pinang.
- Draf Rancangan Tempatan Jawi, Nibong Tebal, Sg. Bakap (2000) Majlis Perbandaran Seberang Perai (MPSB).
- Draf Rancangan Tempatan Kepala Batas (1998) Majlis Perbandaran Seberang Perai (MPSB).
- Jabatan Perangkaan Malaysia (2008) Kompendium Perangkaan Alam Sekitar 2007.
- Laporan Pemeriksaan Rancangan Struktur Negeri Pulau Pinang 2005-2020. Majlis Perbandaran Pulau Pinang.
- Laporan Teknikal, Rancangan Tempatan Daerah Seberang Perai Tengah 2006-2020. Majlis Perbandaran Seberang Perai, Pulau Pinang.
- Mahmud M (2008) *Scientific report on the haze event in Peninsular Malaysia in August 2005: Main contributors of haze*. Department of Environment, Ministry of Natural Resources and Environment, Malaysia, p. 158. ISBN 978-983-3895-10-6.
- Malaysia Environmental Quality Report (2004) Department of Environment, Ministry of Natural Resources and Environment.
- New Straits Times (2005) More people are facing respiratory problems. 12 August.
- Rancangan Struktur (Pengubahan) (2000) Majlis Perbandaran Pulau Pinang.